

KERENTANAN INTRINSIK DAN SPESIFIK AIRTANAH TERHADAP PENCEMARAN DI KECAMATAN BANJARNEGARA DAN SEKITARNYA

Indra Agus Riyanto
indra.agus.r@gmail.com

Margaretha Widyastuti
m.widyastuti@ugm.ac.id

Abstract

Groundwater is an important source for human life. Groundwater existence nowadays has been threatened by human activity, especially those which related to waste product. The purpose of this research was to know intrinsic and specific groundwater vulnerability distribution in Banjarnegara Sub District and it's surroundings. The second purpose of the research is to know groundwater quality from nitrate parameters. The method used to test groundwater vulnerability to contamination is Susceptibility Index (SI). SI parameters are used for processing stage are depth to water table, groundwater recharge, aquifer media, slope, and land use. Groundwater intrinsic vulnerability to contamination in research area consists of three classifications, which is low, medium, and high with low vulnerability has 2.063 Ha in width, medium vulnerability has 187 Ha in width, and high vulnerability has 4.700 Ha in width. Specific groundwater vulnerability consists of three classifications, which is low, medium, and high. Low vulnerability has 1.965,49 Ha in width, medium vulnerability has 2.357,34 Ha in width, and high vulnerability has 2.631,87 Ha in width. The distribution of groundwater quality based on nitrat parameters in research area consists of three classifications, whih is low (0-5 mg/liter), medium (5-10 mg/liter), and high (> 10 mg/liter). The dominance of high grade and medium in the flat morphology. Validation of specific groundwater vulnerability has 53,65% in accuracy and intrinsic groundwater Vulnerability has 56 % in accuracy.

Keywords: *Groundwater, Intrinsic Vulnerability, Specific Vulnerability, Susceptibility Index, Validation.*

Abstrak

Airtanah merupakan sumber air bersih yang penting bagi manusia. Keberadaan airtanah saat ini mulai terancam akibat aktivitas manusia, khususnya terkait dengan kegiatan yang menghasilkan limbah. Tujuan penelitian kerentanan airtanah terhadap pencemaran adalah untuk mengetahui persebaran tingkat kerentanan airtanah intrinsik dan spesifik di Kecamatan Banjarnegara dan Sekitarnya. Tujuan kedua mengetahui kondisi kualitas airtanah berdasarkan parameter nitrat. Metode yang digunakan dalam mengkaji kerentanan airtanah bebas untuk tercemar adalah *Susceptibility Index* (SI). Parameter SI yang digunakan untuk proses pengolahan adalah kedalaman muka airtanah, imbuhan airtanah, media akuifer, kemiringan lereng, dan penggunaan lahan. Kerentanan airtanah intrinsik di lokasi kajian terdiri atas tiga klasifikasi yaitu rendah, sedang, dan tinggi dengan luasan kerentanan rendah 2.063 Ha, sedang 187 Ha, dan tinggi 4.700 Ha. Kerentanan airtanah spesifik metode SI diperoleh tiga klasifikasi yaitu rendah, sedang, dan tinggi dengan klasifikasi rendah memiliki luasan 1.965,49 Ha, sedang 2.357,34 Ha, dan tinggi 2.631,87 Ha. Sebaran kualitas airtanah berdasarkan parameter nitrat dilokasi kajian terdiri atas tiga kelas rendah (0-5 mg/liter), sedang (5-10 mg/liter), dan tinggi (> 10 mg/liter). Dominasi kelas tinggi dan sedang berada pada morfologi datar. Validasi kerentanan intrinsik diperoleh keakuratan sebesar 53,65% dan spesifik 56%.

Kata Kunci : Airtanah, Kerentanan Intrinsik, Kerentanan Spesifik, *Susceptibility Index*, Validasi.

PENDAHULUAN

Airtanah merupakan salah satu sumber air yang banyak dimanfaatkan oleh manusia dalam aktivitasnya (Todd, 1980; Sudarmadji, dkk., 2014; Santosa dan Adji, 2014). Menjaga keberlangsungan airtanah dalam jangka panjang diperlukan kajian kuantitas dan kualitasnya secara lebih mendalam. Upaya dalam menjaga potensi dan kualitas airtanah dilakukan dengan mengkaji kerentanan airtanah terhadap pencemaran (Aller, *et al.*, 1987; Stigter, *et al.*, 2005).

Kerentanan airtanah terhadap pencemaran merupakan tingkat kerentanan airtanah terhadap pencemaran yang didasarkan kondisi hidrogeologi (Vrba dan Zoporozec, 1994). Kerentanan airtanah dibedakan menjadi dua yaitu kerentanan airtanah intrinsik dan spesifik (Aller, *et al.*, 1987; Stigter, *et al.*, 2005; Widyastuti, dkk., 2006; Civita, 2010). Kerentanan airtanah intrinsik menekankan terhadap faktor kondisi fisik (batuan, tanah, dan hidrogeologi) yang secara alami dalam melindungi airtanah terhadap pencemaran. Kerentanan spesifik menekankan pada keberadaan sumber pencemar.

Kajian kerentanan airtanah terhadap pencemaran menjadi sangat penting dalam rangka melindungi airtanah baik kuantitas maupun kualitasnya, sehingga layak untuk dimanfaatkan masyarakat. Terdapat beberapa permasalahan yang menyebabkan kajian kerentanan airtanah menjadi penting yaitu variasi

kondisi geologi dan geomorfologi (Sutikno, 1992; Dragoni dan Sukhija, 2008; Santosa, 2010; dan Verstappen, 2014), serta meningkatnya jumlah penduduk.

Permasalahan kajian kerentanan airtanah dari aktivitas manusia dan variasi kondisi geologi dan geomorfologi juga terjadi di Kecamatan Banjarnegara dan sekitarnya (Kecamatan Madukara, sebagian Banjarnegara dan Sigaluh). Variasi kondisi geologi Kecamatan Banjarnegara dan sekitarnya terdiri atas beberapa formasi yaitu endapan undak, alluvium, breksi formasi linggung, formasi peniron, dan formasi waturanda (Sudadi, 1985). Jumlah penduduk pada lokasi kajian setiap tahun mengalami peningkatan (BPS, 2012). Hal tersebut diperkuat dengan keberadaan Perkotaan Banjarnegara (Anonim, 2011). Dampak perkembangan Perkotaan Banjarnegara dan peningkatan jumlah penduduk terjadi peningkatan pencemaran airtanah pada lokasi kajian baik akibat kebocoran tangki septik dan saluran pembuangan air limbah (Bappeda, 2011).

Berdasarkan penjelasan permasalahan terkait kondisi geologi dan geomorfologi, serta aktivitas penduduk di Kecamatan Banjarnegara dan sekitarnya perlu dilakukan kajian kerentanan airtanah terhadap pencemaran. Tujuan penelitian ini Mengetahui persebaran tingkat kerentanan airtanah intrinsik dan spesifik terhadap pencemaran berdasarkan metode SI di Kecamatan Banjarnegara dan sekitarnya dan Mengetahui kondisi kualitas airtanah

berdasarkan kandungan Nitrat (NO_3^-) di Kecamatan Banjarnegara dan sekitarnya untuk validasi penilaian kerentanan airtanah terhadap pencemaran.

METODE PENELITIAN

Metode dalam penelitian ini terdiri atas variable penelitian, alat dan bahan, pengambilan data, dan metode analisis. Terdapat dua metode dalam penelitian ini. Pertama analisis kerentanan airtanah terhadap pencemaran dan analisis kualitas airtanah di Kecamatan Banjarnegara dan Sekitarnya.

Variabel penelitian berdasarkan analisis kerentanan airtanah terhadap pencemaran terdiri atas 4 parameter untuk kerentanan intrinsik dan 5 parameter untuk kerentanan spesifik. Parameter untuk kerentanan intrinsik adalah kedalaman muka airtanah, imbuhan airtanah, media akuifer, dan lereng. Sedangkan kerentanan airtanah spesifik menggunakan parameter yang sama dengan intrinsik dan ditambah dengan parameter penggunaan lahan. Metode kerentanan airtanah yang digunakan adalah *Suseptibility Index* hasil pengembangan DRASTIC oleh Ribeiro, *et al.*, (2003) dan Stigter, *et al.*, (2006).

Unit analisis yang digunakan adalah satuan bentuklahan. Satuan bentuklahan menjelaskan berbagai kesamaan karakteristik tanah, air, iklim, vegetasi dan batuan (Sitorus, 1985; Hardjowigeno dan Widiatmaka, 2010; Sartohadi, 2013; Santosa 2015).

Satuan bentuklahan mempermudah dalam menentukan penentuan titik sampel. Sampling yang digunakan untuk parameter kedalaman muka airtanah, imbuhan airtanah, media akuifer, dan lereng adalah *stratified random sampling*. Sedangkan parameter penggunaan lahan berupa sensus.

Pengumpulan data kedalaman muka airtanah dilakukan dengan cara pengukuran langsung dilapangan. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan pita ukur. Teknik pengukuran kedalaman muka airtanah dilakukan dengan menghitung dari muka tanah hingga muka airtanah. Teknik pengolahan data kedalaman muka airtanah diinput berdasarkan tiap satuan bentuklahan dan dirata-rata setiap satuan bentuklahan. Nilai rata-rata kedalaman muka airtanah diinput kedalam ARC GIS untuk dipetakan. Pemetaan kedalaman muka airtanah didasarkan pada Tabel 1. Analisis kedalaman muka airtanah didasarkan pada hasil klasifikasi kedalamannya. Semakin dalam potensi untuk tercemar semakin rendah.

Tabel 1. Klasifikasi Kedalaman Muka Airtanah

No	Kedalaman muka airtanah (meter)	Nilai
1	< 1,5	100
2	1,5 – 4,6	90
3	4,6 – 9,1	70
4	9,1 – 15,2	50
5	15,2 – 22,9	30
6	22,9 – 30,5	20
7	> 30,5	10

Sumber : Ribeiro (2000, dalam Stigter, *et al.*, 2005)

Pengumpulan data imbuhan airtanah berasal dari data instansi dan lapangan. Data hujan 1992 – 2014 berasal dari Dinas Pekerjaan Umum Sedangkan data geologi berdasarkan survei lapangan. Pengolahan untuk parameter imbuhan airtanah diawali dengan mengisi data hujan yang kosong menggunakan *Inverse Square Distance* (Hadisusanto, 2010). Selanjutnya dilakukan uji konsistensi dan korelasi stasiun hujan (Triatmodjo, 2013).

Setelah data hujan sudah terisi dan terkoreksi tahap berikutnya menghitung hujan wilayah menggunakan *inverse distance weighting* (IDW) pada ARC GIS. Hasil hujan wilayah setiap satuan bentuklahan dikali dengan koefisien geologi sesuai Tabel 2 sehingga diperoleh nilai imbuhan airtanah.

Tabel 2. Koefisien Imbuhan Airtanah

No	Unit Litologi	Koefisien Imbuhan Airtanah (%)
1	Vulkanik Muda	30 - 50
2	Vulkanik Tua – Sedimen – Campuran Sedimen Muda	15 – 25
3	Sedimen Napal dan <i>Indurated Rock</i>	5
4	Batu Gamping	30 - 50

Sumber : BSN (2002)

Hasil perhitungan imbuhan airtanah kemudian diklasifikasi sesuai dengan Tabel 3. Analisis imbuhan airtanah didasarkan pada hasil klasifikasinya yaitu semakin besar imbuhan airtanahnya potensi bahan

pencemar untuk masuk kesistem airtanah semakin besar.

Pengumpulan data media akuifer dilakukan secara langsung dilapangan. Pengukuran lapangan dilakukan dengan menggunakan alat geolistrik dengan hasil berupa hambatan jenis akuifer (*resistivity*). Pengukuran geolistrik menggunakan konfigurasi Schlumberger untuk memperoleh data kedalaman dan ketebalan akuifer (Todd, 1980).

Tabel 3. Klasifikasi Imbuhan Airtanah

No	Imbuhan airtanah (mm)	Nilai
1	<51	10
2	51 – 102	30
3	102 – 178	60
4	178 – 254	80
5	>254	90

Sumber : Ribeiro (2000, dalam Stigter, *et al.*, 2005)

Metode geolistrik menggunakan *Vertical Electrical Sounding* (VES) menurut (Telford, *et al.*, 1990). Pengolahan data hasil geolistrik diolah dengan *software* IP 2 WIN sehingga diperoleh penampang vertical akuifer lokasi kajian.

Hasil pengolahan dengan IP2WIN diinterpretasi untuk menentukan jenis metrerial berdasarkan klasifikasi nilai *resistivity* Tabel 4. Tahap selanjutnya membuat data bor pada setiap bentuklahan sehingga diketahui jenis material penyusun akuifer. Tahap ketiga adalah memetakan media akuifer setiap bentuklahan menggunakan *software* Arc GIS 10.2 dan mengklasifikasikan media akuifer berdasarkan Tabel 5. Analisis media akuifer didasarkan

pada jenis klasifikasinya. Semakin bersifat porus semakin tinggi potensi pencemar kedalam airtanah.

Pengumpulan data lereng berasal dari instansi. Pengolahan data lereng dilakukan dengan menggunakan ARC GIS. Tahap berikutnya lereng dikelaskan sesuai dengan tabel 6. Analisis lereng didasarkan pada kelas lereng. Semakin rendah kelas lereng semakin tinggi potensi pencemar masuk ke sistem airtanah.

Tabel 4. Resistivitas dan Konduktivitas pada Beberapa Material

No	Material	Resistivitas (Ω m)
1	Granit	$5 \times 10^3 - 10^6$
2	Basalt	$10^3 - 10^6$
3	Slate	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$
4	Marble	$10^2 - 2,5 \times 10^8$
5	Kuarsit	$10^2 - 2 \times 10^8$
6	Batu pasir	$8 - 4 \times 10^3$
7	Batu napal	$20 - 2 \times 10^3$
8	Batu gamping	$50 - 4 \times 10^2$
9	Lempung	1 – 100
10	Aluvium	10 – 80
11	Airtanah tawar	10 – 100
12	Air laut	0,2

Sumber : Looke (1999, dalam Santosa dan Adji, 2014)

Tabel 5. Skoring Parameter Media Akuifer

No	Media akuifer	Nilai
1	Shale massif	20
2	Batuan metamorf/beku	30
3	Batuan metamorf/beku lapuk	40
4	Endapan glasial	50
5	Lapisan batu pasir, batu gamping, lapisan shale	60
6	Batu pasir massif	60
7	Batu gamping massif	80
8	Pasir dan kerikil	80
9	Basal	90
10	Batu gamping karst	100

Sumber : Ribeiro (2000, dalam Stigter, *et al.*, 2005)

Pengumpulan data penggunaan lahan berasal dari data instansi yang diperbaharui menggunakan citra *google earth* 2016. Pengolahan data penggunaan lahan dilakukan dengan menggunakan ARC GIS untuk klasifikasinya. Penggunaan lahan diberi skor dan bobot sesuai tabel 7. Analisis penggunaan lahan didasarkan pada skor dan bobot tertinggi. Semakin tinggi skornya maka potensi penggunaan lahan tersebut menghasilkan pencemar berupa nitrat semakin besar. Parameter nitrat menjadi parameter utama dalam metode SI Ribeiro, *et al.*, (2003) dan Stigter, *et al.*, (2006).

Tabel 6. Klasifikasi Lereng

No	Parameter Lereng (%)	Nilai
1	<2	100
2	2 – 6	90
3	6 – 12	50
4	12 – 18	30
5	>18	10

Sumber : Ribeiro (2000, dalam Stigter, *et al.*, 2005)

Tabel 7. Klasifikasi Penggunaan Lahan

No	Parameter Penggunaan lahan	Nilai
Area pertanian		Nilai
1	Tanaman semusim, sawah	90
2	Tanaman permanen	70
3	Area pertanian heterogen	50
4	Padang pengembalaan dan area agroforestri	50
Area buatan		
1	Industri penghasil limbah, area pembuangan sampah	100
2	Area tambang, galangan kapal, penambangan terbuka	80
3	Area perkotaan, bandara, pelabuhan, stasiun kereta api, area aktivitas industri dan comersial, ruang terbuka hijau	75
4	Area semi urban	70
Area alami		
1	Ekosistem perairan (rawa, laguna, zona pasang surut)	50

2	Hutan dan zona semi alami	0
3	Badan perairan	0

Sumber : Ribeiro (2000, dalam Stigter, *et al.*, 2005)

Pengolahan kerentanan airtanah intrinsik dilakukan dengan overlay parameter kedalaman muka airtanah, imbuhan airtanah, media akuifer, dan lereng. Selanjutnya dilakukan perkalian bobot (Tabel 8) dan skor. Kelas kerentanan airtanah intrinsik dibagi menjadi 3 kelas rendah, sedang dan tinggi.

Pengolahan kerentanan airtanah spesifik dilakukan dengan *overlay* parameter kedalaman muka airtanah, imbuhan airtanah, media akuifer, lereng, dan penggunaan lahan. Selanjutnya dilakukan perkalian skor dan bobot sesuai tabel 8. Kerentanan airtanah spesifik dibagi menjadi 3 kelas rendah, sedang dan tinggi.

Tabel 8. Bobot Parameter SI

No	Parameter	Bobot
1	Kedalaman Muka Airtanah	0,186
2	Imbuhan Airtanah	0,212
3	Media Akuifer	0,259
4	Lereng	0,121
5	Penggunaan Lahan	0,222

Sumber : Ribeiro (2000, dalam Stigter, *et al.*, 2005)

Analisis kualitas airtanah berdasarkan parameter nitrat (NO_3^-) ditujukan untuk mengetahui sebaran kualitas airtanah dilokasi kajian berdasarkan parameter nitrat dan validasi kerentanan airtanah terhadap pencemaran. Pengambilan sampel airtanah dilakukan dengan teknik *stratified random sampling* pada setiap satuan bentuklahan. Jumlah sampel air yang dibutuhkan untuk uji

nitrat adalah 10 ml. Alat yang digunakan untuk mengambil sampel adalah botol sampel. Analisis sampel airtanah dilakukan di laboratorium.

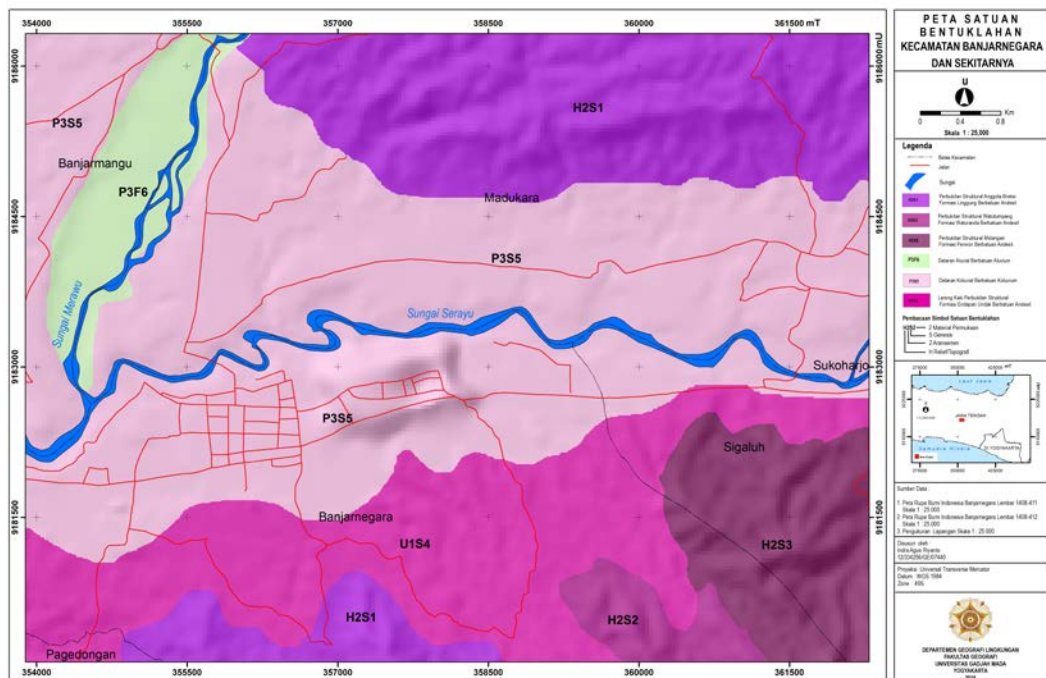
Hasil perolehan kandungan nitrat hasil uji laboratorium diklasifikasikan kedalam tiga kelas rendah, sedang, dan tinggi sesuai dengan Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001. Batasan kadar nitrat dalam baku mutu air minum kelas I adalah 10 mg/liter (Anonim, 2001). Kelas kualitas airtanah berdasarkan parameter nitrat dibagi menjadi tiga kelas yaitu rendah (0-5 mg/liter), sedang (5-10 mg/liter), dan tinggi (>10 mg/liter).

Validasi kerentanan airtanah dilakukan dengan membandingkan hasil kerentanan airtanah dan hasil klasifikasi kualitas airtanah berdasarkan parameter nitrat. Hasil uji validasi dapat ditoleransi minimal 71% (Gaieb dan Hamza, 2013) dan 63% (Boufekane dan Saighi, 2013) pada keseluruhan penilaian kerentanan airtanah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kecamatan Banjarnegara dan sekitarnya memiliki dua bentanglahan yaitu struktural dan fluvial. Satuan bentuklahan di lokasi kajian satuan dijelaskan secara detail melalui kode melalui empat komponen utama dalam proses geomorfologi yang terdiri atas genesis, aransemen, lithologi, dan morfologi yang (Sartohadi dan Suryani, 2014).

Genesis yang terdapat pada lokasi kajian teridentifikasi atas struktural



Gambar 1. Peta Satuan Bentuklahan

(S) dan fluvial (F). Morfologi yang terdapat pada lokasi kajian teridentifikasi atas datar (P), gelombang (U), dan bukit (H). Aransemen yang terdapat pada lokasi kajian teridentifikasi atas lereng bawah (1), perbukitan (2), dan dataran (3). Lithologi di lokasi kajian teridentifikasi atas Anggota Breksi Formasi Linggung Berbatuan Andesit (1), Formasi Waturanda Berbatuan Andesit (2), Formasi Peniron Berbatuan Andesit (3), Formasi Endapan Undak Berbatuan Andesit (4), Formasi Endapan Undak Berbatuan Aluvium (5), Formasi Aluvial Berbatuan Aluvium (6).

Penamaan satuan bentuklahan dilokasi kajian terdiri atas enam satuan bentuklahan (Gambar 1) yaitu: Perbukitan Struktural Karanghonge dan Situgu Berbatuan Andesit (H2S1), Perbukitan Struktural Watutumpang

Berbatuan Andesit (H2S2), Perbukitan Struktural Midangan Berbatuan Andesit (H2S3), Dataran Aluvial Berbatuan Aluvium (P3F6), Dataran Koluvial Berbatuan Koluvium (P3S5), dan Lereng Kaki Perbukitan Struktural Berbatuan Andesit (U1S4).

Setiap satuan bentuklahan kedalamannya diklasifikasikan menjadi empat kelas mengacu pada klasifikasi kedalamannya Santosa dan Adji (2014). Empat kelas kedalamannya airtanah tersebut terdiri atas airtanah dangkal, sedang, dalam, dan sangat dalam. Airtanah dangkal memiliki kedalamannya kurang dari 2,5 meter, airtanah sedang 2,5 – 7 meter, airtanah dalam 7,1 – 15 meter, dan airtanah sangat dalam lebih dari 15 meter.

Satuan bentuklahan pada lokasi kajian memiliki kedalamannya muka airtanah yang bervariasi. Dataran

Koluvial Berbatuan Koluvium pada zona timur memiliki rata-rata kedalaman muka airtanah 9,4 meter. Dataran Koluvial Berbatuan Koluvium dibagian utara memiliki rata-rata kedalaman muka airtanah 9,2 meter. Dataran Koluvial Berbatuan Koluvium selatan memiliki rata-rata kedalaman muka airtanah 7,95 meter. Dataran Aluvial Berbatuan Aluvium memiliki rata-rata kedalaman muka airtanah 1,51 meter.

Kedalaman muka airtanah pada satuan bentuklahan Perbukitan Struktural Karanghonje Anggota Breksi Formasi Linggung Berbatuan Andesit memiliki rata-rata kedalaman muka airtanah 10,24 meter. Lereng Kaki Perbukitan Struktural Formasi Endapan Undak Berbatuan Andesit memiliki rata-rata kedalaman muka airtanah 8,06 meter. Kedalaman muka airtanah pada satuan bentuklahan Perbukitan Struktural Situgu Anggota Breksi Formasi Linggung Berbatuan

Andesit memiliki rata-rata kedalaman muka airtanah 4,1 meter. Kedalaman muka airtanah pada satuan bentuklahan Perbukitan Struktural Watutumpang Formasi Waturanda Berbatuan Andesit dan Perbukitan Struktural Midangan Formasi Peniron Berbatuan Andesit tidak diketemukan sumur atau mata air sehingga kedalaman muka airtanah di satuan bentuklahan tersebut diasumsikan lebih dari 15 meter yang tergolong sangat dalam.

Kecamatan Banjarnegara dan Sekitarnya memiliki curah hujan diatas 3.500 mm/tahun yang tergolong cukup tinggi. Curah hujan pada satuan bentuklahan Perbukitan Struktural

Karanghonje Anggota Breksi Formasi Linggung Berbatuan Andesit diperoleh sebesar 3.888 mm/tahun dengan imbuhan airtanah sebesar 583,2 mm/tahun.

Perbukitan Struktural Situgu Anggota Breksi Formasi Linggung Berbatuan Andesit 3.950 mm/tahun dengan imbuhan airtanah 592,5 mm/tahun. Dataran Koluvial Berbatuan Koluvium bagian utara memiliki curah hujan 3.904 mm/tahun dengan imbuhan airtanah 780,97 mm/tahun, bagian selatan 3.950 mm/tahun dengan imbuhan airtanah 790 mm/tahun, dan bagian barat 3.838 mm/tahun dengan imbuhan airtanah 952,25 mm/tahun. Perbukitan Struktural Midangan Formasi Peniron Berbatuan Andesit memiliki curah hujan 3.950 mm/tahun dengan imbuhan airtanah 592,5 mm/tahun. Perbukitan Struktural Watutumpang Formasi Waturanda Berbatuan Andesit memiliki curah hujan 3.950 mm/tahun dengan imbuhan airtanah sebesar 592,5 mm/tahun. Lereng Kaki Perbukitan Struktural Formasi Endapan Undak Berbatuan Andesit 3.950mm/tahun dengan imbuhan airtanah 592,5 mm/tahun.

Media akuifer lokasi kajian memiliki variasi yang dipengaruhi oleh proses geologi yang bekerja dan material batuan penyusunnya. Identifikasi Media Akuifer dilakukan dengan menggunakan metode Geolistrik pada tiap satuan bentuklahan. Hasil identifikasi yang diperoleh terdapat dua jenis akuifer peyusun media akuifer menurut Allert, *et al.*, (1987) yaitu batuan beku lapuk dan pasir dan kerikil. Pengukuran

geolistrik dilakukan pada 8 titik pada setiap satuan bentuklahan.

Titik pengukuran geolistrik pertama terletak pada satuan bentuklahan Perbukitan Struktural Karanghonje Berbatuan Andesit. Media akuifer pada satuan bentuklahan satuan bentuklahan Perbukitan Struktural Karanghonje Berbatuan Andesit adalah batuan beku lapuk. Media akuifer pada satuan bentuklahan dataran koluvial berbatuan Koluvium bagian utara merupakan pasir dan kerikil. Media akuifer pada satuan bentuklahan Perbukitan Struktural Midangan Formasi Peniron Berbatuan Andesit adalah batuan beku lapuk. Media akuifer pada satuan bentuklahan Perbukitan Struktural Watutumpang Formasi Waturanda Berbatuan Andesit adalah batuan beku lapuk. Media akuifer pada satuan bentuklahan Dataran Koluvial Berbatuan Koluvium bagian selatan dan barat merupakan pasir dan kerikil. Media akuifer pada satuan bentuklahan Perbukitan Struktural Situgu Anggota breksi Formasi Linggung Berbatuan Andesit merupakan batuan beku lapuk. Media akuifer pada satuan bentuklahan Lereng Kaki Perbukitan Struktural Formasi Endapan Undak Berbatuan Andesit merupakan batuan beku lapuk. Media akuifer pada satuan bentuklahan Dataran Aluvial Berbatuan Aluvium merupakan pasir dan kerikil.

Lereng di Kecamatan Banjarnegara dan sekitarnya memiliki empat variasi kelas lereng. Kemiringan lereng <2% terdapat pada

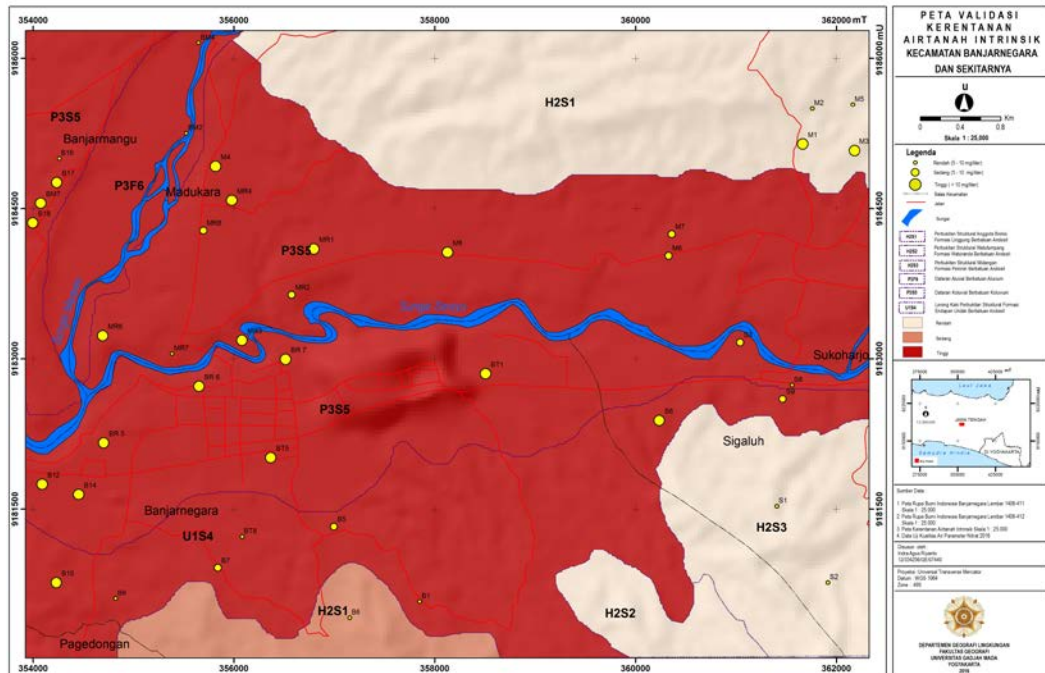
satuan bentuklahan Dataran Aluvial Berbatuan Aluvium. Kemiringan lereng 2-6% terdapat pada satuan bentuklahan Dataran Koluvial Berbatuan Koluvium. Kemiringan lereng 6-12% terdapat pada satuan bentuklahan Lereng Kaki Perbukitan Struktural Formasi Endapan Undak Berbatuan Andesit. Kemiringan lereng >18% terdapat pada satuan bentuklahan Perbukitan Struktural Karanghonje dan Situgu Anggota Breksi Formasi Linggung Berbatuan Andesit, Perbukitan Struktural Watutumpang Formasi Peniron Berbatuan Andesit, dan Perbukitan Struktural Midangan Formasi Peniron Berbatuan Andesit.

Penggunaan lahan menjadi faktor penting dalam menduga potensi sumber pencemar airtanah (Effendi, 2003; Widyastuti dkk., 2006; Sudarmadji, 2013). Setiap penggunaan lahan memiliki karakteristik yang bervariasi untuk menghasilkan sumber pencemar (Appelo and Postma, 2005; Todd and Mays, 2005). Kecamatan Banjarnegara dan Sekitarnya memiliki delapan jenis penggunaan lahan (Tabel 9) dengan persebaran pola penggunaan lahan yang tersebar.

Tabel 9. Luasan Penggunaan Lahan

No	Penggunaan Lahan	Luas (Ha)
1	Air Tawar	152.81
2	Belukar/Semak	37.82
3	Kebun	3262.07
4	Permukiman	1573.83
5	Rumput	2.92
6	Sawah Irigasi	1648.15
7	Sawah Tadah Hujan	243.73
8	Tegalan	33.38
Total Luas		6954.71

Sumber Hasil Olah (2016)



Gambar 2. Peta Kerentanan Airtanah Intrinsik

Potensi pencemar nitrat tertinggi dihasilkan dari aktivitas pertanian (sawah irigasi dan tadah hujan) yang disebabkan oleh kandungan pupuk yang larut pada air. Potensi pencemar nitrat tertinggi kedua berasal dari permukiman hal tersebut disebabkan oleh aktivitas limbah domestik. Potensi pencemar nitrat tertinggi ketiga berasal dari penggunaan lahan kebun dan tegalan yang disebabkan oleh aktivitas pemupukan.

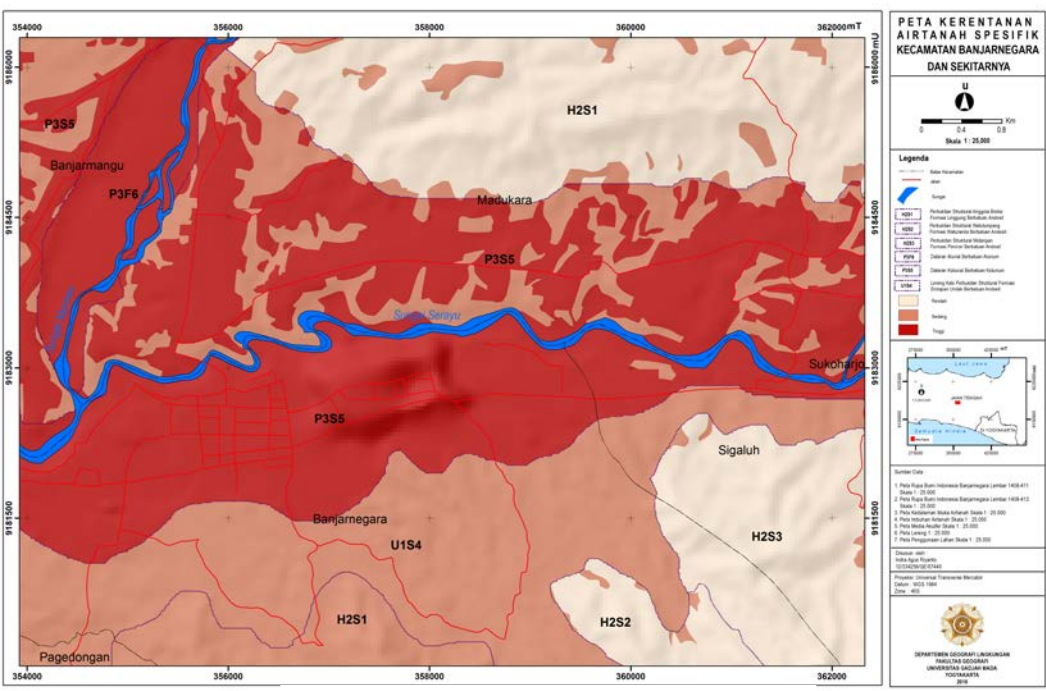
Kerentanan airtanah intrinsik dilokasi kajian terdiri atas tiga kelas yaitu tinggi, sedang, dan rendah (Gambar 2). Luasan area yang memiliki kerentanan tinggi sebesar (4.700 Ha), sedang (187 Ha), dan rendah (2.063 Ha). Keterangan klasifikasi indeks kerentanan airtanah intrinsik terdapat pada (Tabel 10).

Kerentanan airtanah intrinsik tinggi terdapat pada satuan bentuklahan Dataran Aluvial Berbatuan aluvium, Dataran Koluvial Berbatuan Koluvial, dan Lereng Kaki Perbukitan Struktural Formasi Endapan Undak Berbatuan Andesit. Ketiga satuan bentuklahan tersebut memiliki nilai kerentanan intrinsik yang tinggi yang diakibatkan oleh kedalaman muka airtanahnya dangkal (8 – 10 meter), media akuifernya berupa pasir dan kerikil, memiliki nilai imbuhan airtanah tertinggi, dan wilayahnya memiliki lereng yang datar. Nilai kerentanan intrinsik sedang terdapat pada satuan bentuklahan Perbukitan Struktural Situgu Anggota Breksi Formasi Linggung Berbatuan Andesit. Nilai klasifikasi sedang dikarenakan kedalaman muka airtanah dilokasi kajian termasuk dangkal (4 meter),

meskipun faktor lain tergolong rendah baik lereng yang berbukit, media akuifer yang termasuk dalam lapukan batuan andesit, dan imbuhan airtanah yang rendah.

airtanah yang sangat dalam (> 15 meter).

Kerentanan airtanah spesifik Kecamatan Banjarnegara dan Sekitarnya dengan metode SI memiliki



Gambar 3. Peta Kerentanan Airtanah Spesifik

Nilai kerentanan airtanah intrinsik rendah terdapat pada satuan bentuklahan Perbukitan Struktural Karanghonje Anggota Breksi Formasi Linggung Berbatuan Andesit, Perbukitan Struktural Watutumpang Formasi Waturanda Berbatuan Andesit, dan Perbukitan Struktural Midangan Berbatuan Andesit. Ketiga satuan bentuklahan tersebut memiliki nilai kerentanan intrinsik yang terendah karena keseluruhan faktor kerentanan intrinsik memiliki nilai yang rendah baik dari imbuhan airtanah, lereng yang berbukit, media akuifer yang berupa lapukan batuan andesit, serta kedalaman muka

perbedaan variasi tingkat kerentanan airtanah intrinsik (Gambar 3). Indeks

No	Indeks Kerentanan	Klasifikasi Kerentanan
1	36-47	Kerentanan Rendah
2	48-59	Kerentanan Sedang
3	60-71	Kerentanan Tinggi

SI hasil *overlay* diperoleh tiga klasifikasi yaitu kerentanan tinggi, sedang, dan rendah dengan nilai rentang (Tabel 11). Luasan area yang memiliki kerentanan tinggi sebesar (2.631,87 Ha), sedang (2.357,34 Ha), dan rendah (1.965,49 Ha).

Tabel 10. Klasifikasi Kerentanan Airtanah Intrinsik
Sumber : Hasil Olah (2016)

Kerentanan tinggi berada pada wilayah yang datar dengan penggunaan lahan sawah irigasi, sawah tadah hujan, permukiman, dan kebun. Keempat penggunaan lahan tersebut memiliki nilai parameter kerentanan berkisar 50-90. Keempat penggunaan tersebut memiliki potensi penghasil bahan pencemar yang cukup besar khususnya nitrat.

Kerentanan airtanah spesifik sedang terdapat pada wilayah yang berbukit hal tersebut dipengaruhi oleh faktor kondisi alam yang berupa media akuifer, imbuhan airtanah, kedalaman muka airtanah, dan kemiringan lereng yang memiliki nilai rendah meskipun penggunaan lahannya memiliki nilai parameter kerentanan tinggi. Nilai kerentanan rendah terdapat pada wilayah yang berbukit khususnya yang memiliki penggunaan lahan berupa belukar dan tegalan karena kedua penggunaan lahan tersebut memiliki nilai parameter kerentanan rendah.

Tabel 11. Klasifikasi Kerentanan Airtanah Spesifik

No	Indeks Kerentanan	Klasifikasi Kerentanan
1	36-53	Kerentanan Rendah
2	54-71	Kerentanan Sedang
3	72-89	Kerentanan Tinggi

Sumber : Hasil Olah (2016)

Distribusi kadar nitrat di Kecamatan Banjarnegara diperoleh dari hasil pengukuran kualitas airtanah sebanyak 41 sampel. Berdasarkan klasifikasi kualitas air dengan parameter nitrat rendah, sedang, dan tinggi. Jumlah sampel air dapat dirinci yang termasuk klasifikasi rendah 15 sampel, sedang 8 sampel, dan tinggi 19 sampel. Sebaran kualitas airtanah

berdasarkan parameter nitrat secara umum di area kajian 18 sampel dengan klasifikasi tinggi berada pada morfologi datar dan datar berombak. 8 sampel dengan klasifikasi sedang juga berada morfologi datar dan datar berombak. Wilayah perbukitan dominan dengan sampel yang tergolong klasifikasi rendah.

Validasi penilaian kerentanan airtanah intrinsik dengan uji nitrat diperoleh variasi yang berbeda (Tabel 12). Keakuratan penilaian kerentanan airtanah intrinsik metode SI tanpa parameter penggunaan lahan diperoleh nilai 53,65%. 41 sampel air sumur diperoleh 22 sampel uji nitrat yang sesuai dengan penilaian kerentanan intrinsik airtanah. Hasil tersebut dapat diartikan bahwa kondisi Kecamatan Banjarnegara dan sekitarnya secara alami masih memiliki kualitas airtanah yang baik meskipun terdapat beberapa penilaian kerentanan airtanahnya tinggi.

Tabel 12. Uji Validasi Kerentanan Airtanah Intrinsik

		Kerentanan Airtanah Intrinsik		
		Tinggi	Sedang	Rendah
Uji Nitrat	Tinggi (> 10 mg/l)	18	8	8
	Sedang (5-10 mg/l)	0	0	1
	Rendah (0-5 mg/l)	2	0	4

Sumber : Hasil Olah (2016)

Validasi kerentanan spesifik dengan uji nitrat diperoleh variasi yang berbeda (Tabel 13). Keakuratan metode SI diperoleh nilai 56% yang termasuk mendekati dari batas minimum 63% dan 71% (Boufekane dan Saighi, 2013).

Hasil uji kualitas air 41 sampel air sumur terdapat 23 sampel yang memiliki nilai klasifikasi sama antara kerentanan airtanah dan uji kualitas air. Hasil validasi tersebut belum tentu menggambarkan metode SI kurang sesuai pada lokasi kajian. Nilai validasi dibawah batas minimum metode SI dikarenakan metode SI merupakan pengembangan metode DRASTIC yang dilakukan oleh Ribeiro. Metode SI merupakan Metode Kuantitatif (Marrapu dan Jakka, 2014) yang telah dimodifikasi sesuai pengalaman peneliti dan karakteristik lokasi penelitian dengan menambahkan parameter dan mengganti bobot parameter (Stigter, *et al.*, 2005). Berdasarkan perubahan bobot dan penambahan parameter terdapat beberapa faktor yang kurang sesuai di lokasi kajian (Elsheikh, *et al.*, 2013).

Parameter yang menunjukkan nilai yang kurang sesuai adalah Imbuhan airtanah yang memiliki nilai seragam yaitu lebih dari 254 mm/tahun. Hal tersebut dikibatkan curah hujan di area wilayah beriklim tropis > 3000mm/tahun. Beda iklim menentukan perbedaan curah hujan dan imbuhan airtanah pada suatu wilayah hal tersebut berdampak pada hasil penilaian kerentanan airtanah metode SI yang dibawah batas akurasi. Hal tersebut diperkuat oleh pendapat Gaieb dan Hamza (2013) bahwa metode SI di Iklim yang sama dengan Portugal bisa diaplikasikan dan nilai akurasinya dapat diterima. Selain parameter imbuhan airtanah parameter yang kurang sesuai adalah kualitas airtanah berdasarkan parameter nitrat.

klasifikasi parameter nitrat menurut Stigter *et al.*, (2005) kurang sesuai dengan klasifikasi di Indonesia (Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001) yang terlampaui tinggi.

Validasi lain terkait rendahnya tingkat kerentanan metode SI didasarkan pada penelitian Bappeda

		Kerentanan Airtanah Spesifik		
		Tinggi	Sedang	Rendah
Uji Nitrat	Tinggi (> 10 mg/l)	16	4	6
	Sedang (5-10 mg/l)	2	3	4
	Rendah (0-5 mg/l)	2	0	4

(2011) menunjukkan terdapat pengelolaan limbah yang baik diarea kajian. Terdapat 5 parameter penilaian area berisiko terkait dengan sanitasi yaitu sumber air, air limbah domestik, persampahan, drainase, dan perilaku hidup bersih sehat.

Tabel 12. Uji Validasi Kerentanan Airtanah Spesifik

Sumber : Hasil Olah (2016)

Bukti yang dapat menjelaskan kondisi hidrogeologi lokasi kajian masih baik dan dapat menampung beban pencemar berdasarkan peta hidrogeologi (Sudadi, 1985) pada wilayah yang datar merupakan akuifer yang memiliki produktivitas sedang dengan penyebaran luas dengan debit sumur 5liter/detik. Debit tersebut seharusnya dapat menyebarkan pencemar dengan cepat namun pada hasil uji kualitas air tidak semua tergolong klasifikasi tinggi pada wilayah yang datar.

Pendapat lain menambahkan pada wilayah Perkotaan Banjarnegara arah *flownet* bergerak dari timur ke barat masuk ke Sungai Serayu (Widyastuti, dkk., 2015). Selain *flownet* wilayah Perkotaan Banjarnegara media zona tak jenuh tersusun atas geluh lanau sehingga potensi pencemar untuk masuk tergolong sedang.

KESIMPULAN

Sebaran kerentanan airtanah intrinsik di Kecamatan Banjarnegara dan Sekitarnya terdiri atas tiga klasifikasi yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Klasifikasi Rendah terdapat pada satuan bentuklahan Perbukitan Struktural Karanghonje Anggota Breksi Formasi Linggung Berbatuan Andesit, Perbukitan Struktural Watutumpang Formasi Waturanda Berbatuan Andesit, dan Perbukitan Struktural Midangan Formasi Peniron Berbatuan Andesit. Klasifikasi sedang terdapat pada satuan bentuklahan Perbukitan Struktural Situgu Anggota Breksi Formasi Linggung Berbatuan Andesit. Klasifikasi tinggi terdapat pada satuan bentuklahan pada satuan bentuklahan Dataran Aluvial Berbatuan Aluvium, Dataran Koluvial Berbatuan Aluvium, dan Lereng Kaki Perbukitan Struktural Formasi Endapan Undak Berbatuan Andesit. Kerentanan airtanah intrinsik diperoleh luasan untuk kelas rendah 2.063 Ha, sedang 187 Ha, dan tinggi 4.700 Ha.

Kerentanan airtanah spesifik metode SI diperoleh tiga klasifikasi yaitu rendah, sedang, dan tinggi.

Klasifikasi rendah memiliki luasan 1.965,49 Ha, sedang 2.357,34 Ha, dan tinggi 2.631,87 Ha.

Hasil uji kualitas airtanah Kecamatan Banjarnegara dan Sekitarnya dengan parameter nitrat diperoleh nilai dengan kisaran (0,07-78,58 mg/liter). Distribusi kualitas air berdasarkan parameter nitrat untuk kelas tinggi dominan berada pada morfologi datar dan datar berombak sedangkan pada morfologi berbukit dominan kelas rendah.

Validasi kerentanan intrinsik diperoleh keakuratan sebesar 53,65% dan spesifik 56%. Kedua nilai tersebut tergolong rendah untuk uji akurasi model namun kedua nilai tersebut juga dapat menunjukkan kondisi Hidrogeologi Kecamatan Banjarnegara masih baik dan dapat menampung beban pencemar. Faktor yang mempengaruhi kualitas airtanah yang dominan rendah adalah keterdapat material zona tak jenuh dan tekstur tanah yang terdiri atas geluh, lempung, dan debu. Selain itu terdapat skor parameter imbuhan airtanah yang kurang sesuai dengan kondisi di lokasi kajian sehingga hasil akurasi kerentanan airtanah dibawah batas. Metode SI dapat diaplikasikan di lokasi kajian dengan modifikasi parameter imbuhan airtanah dan klasifikasi kualitas airtanah berdasarkan parameter nitrat.

DAFTAR PUSTAKA

Aller, L., Bennet, T., Lehr, J.H., Petty, R.J., Hackett, G. 1987. *DRASTIC: a Standardized System For*

- Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings*. United State : U.S. Environmental Protection Agency.
- Anonim, 2001. *Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air*. Jakarta : Debuti Sekertaris Kabinet Bidang Hukum dan Perundang-undangan.
- Anonim, 2011. *Perda Kabupaten Banjarnegara Nomor 11 Tahun 2011 tentang RTRW Kabupaten Banjarnegara Tahun 2011-203*. Banjarnegara : Pemda Kabupaten Banjarnegara.
- Appelo, C.A.J and Postma, D. 2005. *Geochemistry, Groundwater and Pollution, 2nd edn*. Rotterdam: Balkema Publishers.
- Bappeda.2011. *Studi Environmental Health Risk Assesment (EHRA) Kabupaten Banjarnegara*. Banjarnegara : Pemerintah Kabupaten Banjarnegara.
- Boufekane, A and Saighi, O. 2013. Assesment of Groundwater Pollution by Nitrates Using Intrinsic Vulnerability Methods: A Case Study of the Nil Valley Groundwater (Jijel, North-East Algeria). *Academic Journal*, Vol.7, No.10, pp : 949 – 960.
- BPS. 2012. *Banjarnegara Dalam Angka*. Banjarnegara : BPS.
- BSN (Badan Standarisasi Nasional). 2002. *Standar Nasional Indonesia (SNI) 19-6728.1-2002 Tentang Penyusunan Sumberdaya Bagian 1 : Sumberdaya Air Spasial*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Civita, M.V. 2010. The Combined Approach When Assesing and Mapping Groundwater Vulnerability to Contamination. *Jurnal Water Resources and Protection*, Vol.2, pp : 14 – 28.
- Dragoni, W dan Sukhija, B.S. 2008. *Climate Change and Groundwater*. London : The Geological Society.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air*. Yogyakarta : Kanisius.
- Elsheikh, R., Rashid, A., Shariff, M., Amiri, F., Ahmad, N.B., Balasundram, S.k., dan Soom, M.A.M. 2013. Agriculture Land Suitability Evaluator (ALSE) : A Decision and Planning Support Tool for Tropical and Subtropical Crops. *Journal Elsevier Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 93, pp : 98-110.
- Gaieb, S and Hamza, M.H. 2013. Assessing Vulnerability to Agricultural Polution of Groundwater Bou Arada laroussa According to SI Method Applied by GIS. *Journal of Research in Envoronmental and Earth Science*, Vol. 1, pp : 1-10.
- Hadisusanto, Nugroho. 2011. *Aplikasi Hidrologi*. Yogyakarta: Jogja Mediautama.
- Hardjowigeno, S. dan Widiatoka. 2010. *Evaluasi Kesesuaian Lahan dan Perencanaan Tataguna Lahan*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Marrapu, B dan Jakka, R.S. 2014. Landslide Hazard Zonation Methods : A Critical Review.

- Journal of Civil Engineering Research, Vol.5, No.3, pp :215-220.
- Ribeiro, L., Serra, E., Paralta, E., and Nascimento, J. 2003. Nitrate Pollution in Hardrock Formations: Vulnerability and Risk Evaluation by Geomathematical Methods in Serpa-Brinches Aquifer (South Portugal). *Proceeding International Conference on Groundwater in Fractured Rocks, No. 7, pp : 377–378.*
- Santosa, L.W dan Muta'ali, L. 2015. *Bentang Alam dan Bentang Budaya*. Yogyakarta : Badan Penerbit Fakultas Geografi.
- Santosa, L.W. 2014. *Karakteristik Akuifer dan Potensi Airtanah Graben Bantul*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Santosa, W.S. 2010. Pengaruh Genesis Bentuklahan Terhadap Hidrostatigrafi Akuifer dan Hidrogeokimia dalam Evolusi Airtanah Bebas. *Disertasi*. Yogyakarta : Program Pasca Sarjana Fakultas Geografi UGM.
- Santosa, L.W. and Adj, T.N. 2014. *Karakteristik Akuifer dan Potensi Airtanah Graben Bantul*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Sartohadi, j dan Pratiwi, E.S. 2014. *Bunga Rampai Penelitian Pengelolaan Bencana Kegunungapian Kelud pada Periode Krisis Erupsi 2014*. Yogyakarta : Pustaka Pelajar.
- Sartohadi, J., Suratman, Jamulya, & Dewi, N. I. (2013). *Pengantar Geografi Tanah*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Sitorus, S. (1985). *Evaluasi Sumberdaya Lahan*. Bandung: Tarsito.
- Stigter, T.Y., Ribeiro, L., and Dill, A.M.M.C. 2005. Evaluation of an Intrinsic and a Specific Vulnerability Assessment Method In Comparison With Groundwater Salinisation And Nitrate Contamination Levels in Two Agricultural Regions in the South of Portugal. *Hydrogeology Journal, Vo.14, pp: 79-99.*
- Sudadi, P. 1985. *Peta Hidrogeologi Indonesia Lembar Pekalongan*. Bandung : Direktorat Geologi Tata Lingkungan.
- Sudarmadji, Hadi .P, Widyastuti.M . 2014. *Pengelolaan Sumberdaya Air Terpadu*. Yogyakarta :Gadjah Mada University Press.
- Sudarmadji. 2013. *Mata Air*. Yogyakarta : Sekolah Pasca Sarjana UGM.
- Telford, W. M., Geldart, L. P. and Sheriff, R. E. 1990. *Applied Geophysics Second Edition*. United State of America : Cambridge University Press.
- Todd, D.K and Mays, L.W. 2005. *Groundwater Hydrology Third Edition*. United States : John Wiley and Sons, Inc.
- Todd, D.K. 1980. *Groundwater Hydrology*. United State : John Wiley and Sons Inc.
- Travis, C.C and Etnier, E.L. 1984. *Groundwater Pollution*. Colorado : Westview Press, Inc.
- Triatmodjo, Bambang. 2013. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.

- Verstappen. 2014. *Geomorfologi Terapan*. Diterjemahkan oleh Sutikno. Yogyakarta : Ombak.
- Vrba, J and Zaporozec, A. 1994. *Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability*. Hannover : International Association of Hydrogeologist.
- Widyastuti, M., Notosiswoyo, S., dan Anggayana, K. 2006. Pengembangan Metode DRASTIC untuk Prediksi Kerentanan Airtanah terhadap Pencemaran di Sleman. *Majalah Geografi Indonesia*, Vol. 20, No. 1, hal : 33 – 51.
- Widyastuti, M., Nurfahmi, P., dan Riyanto, I.A. 2015. Potensi Airtanah Bebas dan Kerentanannya Terhadap Pencemaran di Kawasan Perkotaan Banjarnegara, disampaikan dalam Seminar Nasional Geofisika, tanggal 21 November 2015, diselenggarakan oleh Fakultas MIPA Universitas Negeri Semarang. Tidak dipublikasi.